

Résumé

Quatre essais pour lutter contre la pourriture du cœur à *Phytophthora* du cocotier ont été implantés en 1991-1992 au Nord Sulawesi, Indonésie.

Testant deux méthodes de traitement et plusieurs fongicides, ces expérimentations ont mis en évidence l'efficacité d'une application d'acide phosphoreux par injection dans le stipe. La dose de 8 à 10 g de matière active (soit 20 à 25 ml de Foli-r-fos 400AS) par arbre est recommandée en début de saison des pluies.

Abstract

Four trials to control coconut bud rot caused by *Phytophthora* were set up in North Sulawesi, Indonesia, in 1991-1992.

The trials tested two treatment methods and several fungicides, and demonstrated the efficacy of stem injection with phosphorous acid. A dose of 8 to 10 g of active ingredient (i.e. 20 to 25 ml of Foli-r-fos 400AS) per palm is recommended, at the start of the rainy season.

Resumen

En 1991-1992, se instalaron cuatro ensayos para controlar la pudrición del cogollo a *Phytophthora* del cocotero, en Norte Sulawesi, Indonesia.

Probando dos métodos de tratamiento y varios fungicidas, estas experimentaciones evidenciaron la eficacia de una aplicación de ácido fosforoso mediante inyección en el estipe. Se recomienda una dosis de 8 a 10 g de ingrediente activo (o sea 20 a 25 ml de Foli-r-fos 400AS) por palma al empezar la temporada lluviosa.

Lutte chimique contre la pourriture du cœur à *Phytophthora* du cocotier en Indonésie

Thévenin J.M.¹, Motulo H.F.J.², Kharie S.², Renard J.L.¹

¹ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

² Balai Penelitian Kelapa, Kotak Pos 1004, Manado, Indonésie.

Les maladies à *Phytophthora* sur cocotier se traduisent par deux sortes de symptômes : la pourriture du cœur, conduisant à la mort de l'arbre, et la chute de noix immatures, entraînant une perte de production. Les dégâts dus à *Phytophthora* ont été signalés dans de nombreux pays de la zone intertropicale.

En 1977, un foyer important de pourriture du cœur est apparu en Côte d'Ivoire. En quelques années, dans certaines plantations villageoises, 50 % des cocotiers Grands locaux sont morts (Quillec *et al.*, 1984) et 10 à 25 % de chutes de noix précoces sont enregistrées annuellement sur des hybrides Nain Jaune x Grand Ouest Africain (de Franqueville et Renard, 1989).

En Indonésie, ces maladies jusqu'alors passées inaperçues ou sans importance économique majeure se sont développées à partir des années 80, principalement en plantations villageoises d'hybrides PB 121 (Nain Jaune Nias x Grand Ouest Africain), où la mortalité peut atteindre 40 % (Thévenin *et al.*, 1994), et en champs semenciers Nain Jaune Nias, où la perte due aux chutes de noix immatures a été estimée à 50 % en 1985 (Bennet *et al.*, 1985). Des essais, installés dans les années 80 au Nord Sulawesi (Indonésie), ont conduit à la recommandation de l'Aliette 100CA (à base de foséthyl-Al) par absorption racinaire, à une dose de 60 ml appliquée deux fois par an (Anonyme, 1989). Ces résultats ont cependant été remis en cause par d'autres essais mis en place en 1988 par le *Coconut Research Institute* (Balitka)

de Manado (Motulo *et al.*, 1992 ; Kharie *et al.*, 1992 ; Warokka *et al.*, 1992).

Les très bons résultats obtenus en Côte d'Ivoire, par injection dans le stipe d'Aliette 80WP, pour lutter contre la chute de noix immatures (de Franqueville et Renard, 1989), ont conduit Balitka, dans le cadre d'un projet STD2 (science et technique au service du développement) financé par l'Union européenne, à envisager l'étude de plusieurs méthodes de traitement et de plusieurs fongicides. Les résultats de ces nouveaux essais, implantés en 1991-1992 pour lutter contre la pourriture du cœur sont présentés ci-dessous.

Matériel et méthode

Deux méthodes de traitement ont été employées : l'absorption racinaire et l'injection dans le stipe. Les quatre essais ont été implantés en milieu villageois, sur parcelles d'hybrides PB 121. Les tableaux 1 et 2 détaillent le descriptif des essais.

Absorption racinaire

Les racines utilisées lors de l'absorption racinaire doivent être en bon état et actives. Elles sont choisies de couleur brun-rouge, d'un diamètre d'environ 1 cm et à 50-100 cm du tronc, en fonction de l'enracinement de l'arbre. La racine ainsi dégagée est coupée, l'extrémité reliée au cocotier est nettoyée et insérée dans le sachet plastique contenant la solution fongicide (photo 1). La pose doit se faire avec précaution afin que l'extrémité de la racine atteigne le fond du sachet sans le

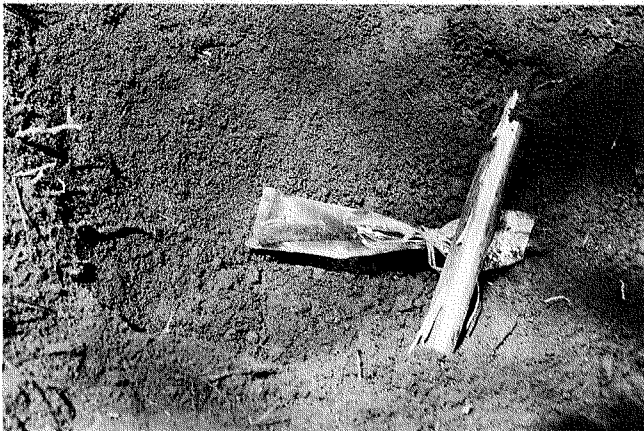
Tableau 1. Descriptif des essais. / Description of trials.

N° essai <i>Trial no.</i>	Localité <i>Site</i>	Année de plantation <i>Planting year</i>	Matériel végétal <i>Planting material</i>	% pourriture du cœur en début d'essai <i>% bud rot at start of trial</i>	Dates d'application <i>Application dates</i>	Traitements <i>Treatments</i>	Dispositif <i>Parcelles élémentaires Elementary plots</i>	Nbre de répétitions <i>No. of replicates</i>
Essai 1 <i>Trial 1</i>	Tetey / Kolongan	1984	PB 121	26,5 % & 14,1 %	11-13/6/91 5-8/2/93	Facteur principal : méthode de traitement (sous-bloc) <i>Main factor: treatment method (sub-block)</i> - injection dans le stipe / <i>stem injection</i> - absorption racinaire / <i>root uptake</i> Facteur secondaire : produit (parcelle élémentaire) <i>Secondary factor: product (elementary plot)</i> - Aliette 80WP, 12,5 g - Aliette 100CA, 100 ml - Ridomil 35SD, 28,6 g - Acide phosphoreux 14 %, 50 ml / <i>14% Phosphorous acid, 50ml</i> - Témoin / <i>Control</i>	Split-plot 10 arbres / <i>10 palms</i>	5
Essai 2 <i>Trial 2</i>	Koka	1983	PB 121	31,1 %	18/6/91 4/2/93	Aliette 80WP, 7,5 g Acide phosphoreux 14 %, 30 ml / <i>14% Phosphorous acid, 30ml</i> Foli-r-fos 400AS, 10 ml Foli-r-fos 400AS, 20 ml Foli-r-fos 400AS, 30 ml - Témoin / <i>Control</i> Tous les traitements par injection dans le stipe <i>All treatments by stem injection</i>	Blocs complets équilibrés <i>Balanced complete blocks</i> 10 arbres / <i>10 palms</i>	5
Essai 3 <i>Trial 3</i>	Pinilih	1984	PB 121	19,3 %	25/7/91 (B,C,E,F) 7/12/91 (A,C,D,F) 6/03/93 (A,B,C*,D,E,F*)	A - Aliette 80WP, 7,5 g, saison des pluies / <i>rainy season</i> B - Aliette 80WP, 7,5 g saison sèche / <i>dry season</i> C - Aliette 80WP, 3,75 g, saison sèche / <i>dry season</i> puis, 3,75 g saison des pluies / <i>then, 3.75 g rainy season</i> D - Acide phosphoreux, 30 ml, saison des pluies <i>Phosphorous acid, 30 ml, rainy season</i> E - Acide phosphoreux, 15 ml, saison sèche <i>Phosphorous acid, 15 ml dry season</i> puis 15 ml, saison des pluies / <i>then, 15 ml rainy season</i> G Témoin / <i>Control</i> Tous les traitements par injection dans le stipe <i>All treatments by stem injection</i>	Blocs complets équilibrés <i>Balanced complete blocks</i> 10 arbres / <i>10 palms</i>	5
Essai 4 <i>Trial 4</i>	Warisa	1984	PB 121	32,3 %	21-24/04/92	Facteur principal : produit (sous-bloc) <i>Main factor: product (sub-block)</i> - Témoin / <i>Control</i> - Aliette, 12,5 g (WP) ou 100 ml (CA) - Aliette, 18,75 g (WP) ou 150 ml (CA) - Aliette, 25 g (WP) ou 200 ml (CA) Sous facteur : méthode de traitement (parcelle élément.) <i>Sub-factor: treatment method (elementary plot)</i> - Injection dans le stipe (Aliette 80 WP) / <i>Stem injection (Aliette 80 WP)</i> - Absorption racinaire (Aliette 100CA) <i>Root uptake (Aliette 100CA)</i>	Split-plot 1 arbre / <i>1 palm</i>	55

* : respectivement 6 g m.a. Aliette 80WP et 4,2 g m.a. acide phosphoreux, en une fois / *6 g a.i. Aliette 80WP and 4.2 g a.i. phosphorous acid respectively, in one go.*

Tableau 2. Produits et méthodes utilisés. / *Products and methods used.*

Matière active (m.a.) Active ingredient (a.i.)	Produit commercial (p.c.) Commercial product (c.p.)	Dose p.c. Dose c.p.	Dose m.a. (g) Dose a.i. (g)	Solution / méthode de traitement Solution / treatment method	N° de l'essai correspondant Corresponding trial no.
Foséthyl-Al <i>Fosetyl-Al</i>	Aliette 80WP	3,75 g	3	15 ml, 1 trou / 1 hole	3
		7,50 g	6	30 ml, 2 trous / 2 holes	2,3
		12,50 g	10	60 ml, 3 trous ou 1 racine <i>60 ml, 3 holes or 1 root</i>	1
		12,50 g	10	30 ml, 2 trous / 2 holes	4
		18,75 g	15	45 ml, 3 trous / 3 holes	4
		25,00 g	20	60 ml, 4 trous / 4 holes	4
	Aliette 100CA	100 ml	10	pure, 2 racines ou 3 trous <i>neat, 2 roots or 3 holes</i>	1,4
		150 ml	15	pure, 3 racines / neat, 3 roots	4
		200 ml	20	pure, 4 racines / neat, 4 roots	4
Métalaxyl <i>Metalaxyl</i>	Ridomil 35SD	28,60 g	10	60 ml, 3 trous ou 1 racine <i>60 ml, 3 holes or 1 root</i>	1
Acide phosphoreux <i>Phosphorous acid</i>	Foli-r-fos 400AS	10 ml	4	pure, 1 trou / neat, 1 hole	2
		20 ml	8	pure, 1 trou / neat, 1 hole	2
		30 ml	12	pure, 2 trous / neat, 2 holes	2
	Acide phosphoreux 14 % tamponné <i>Phosphorous acid 14% buffered</i>	15 ml	2,1	pure, 1 trou / neat, 1 hole	3
		30 ml	4,2	pure, 2 trous / neat, 2 holes	2,3
		50 ml	7,0	pure, 3 trous ou 1 racine <i>neat, 3 holes or 1 root</i>	1



J.M. Thévenin

Photo 1. Méthode de traitement par absorption racinaire. / *Treatment by root uptake.*

percer, et qu'ainsi, toute la solution soit absorbée. Un arceau de bambou maintient la racine inclinée vers le bas. L'absorption doit être contrôlée régulièrement pendant plusieurs jours ; si le produit n'est pas absorbé, le traitement doit être répété sur une autre racine.

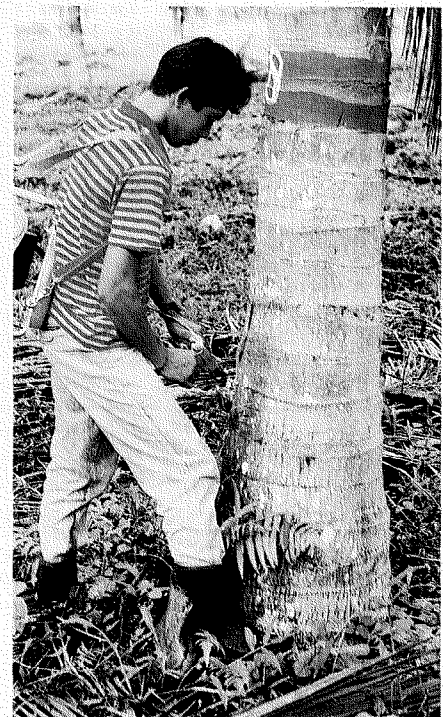
Injection dans le stipe

Sur cocotiers hybrides ou Grands âgés de plus de 7 ans, l'injection dans le stipe peut être pratiquée à l'aide d'une perceuse automotrice (photo 2). Les trous d'un diamètre de 12 mm, d'une profondeur de 15 cm et à une inclinaison de 45°, sont percés à environ 1 m du sol. La solution ou suspension est introduite dans le

trou à l'aide d'une seringue ; l'orifice est ensuite soigneusement refermé à l'aide d'un bouchon en bois, préalablement imprégné d'un insecticide (à base de monocrotophos, par exemple), afin de prévenir les attaques de ravageurs au niveau de la blessure.

Contrôle de la persistance des fongicides dans les noix

Afin de vérifier la présence de fongicides dans la bourre des noix, des tests d'inoculation artificielle (biotest) sont pratiqués au laboratoire sur de jeunes noix détachées, âgées de 6 mois environ et provenant des arbres étudiés (2 noix par arbre). L'inoculation est effectuée à



J.M. Thévenin

Photo 2. Méthode de traitement par injection dans le stipe. / *Treatment by stem injection.*

l'aide d'une suspension de zoospores et de mycélium, provenant d'une souche de *Phytophthora* isolée à partir de pourriture de noix, et cultivée pendant 12 à 15 jours sur milieu PCA (pomme de terre 20g/l, carotte 20g/l, agar 20g/l). Une

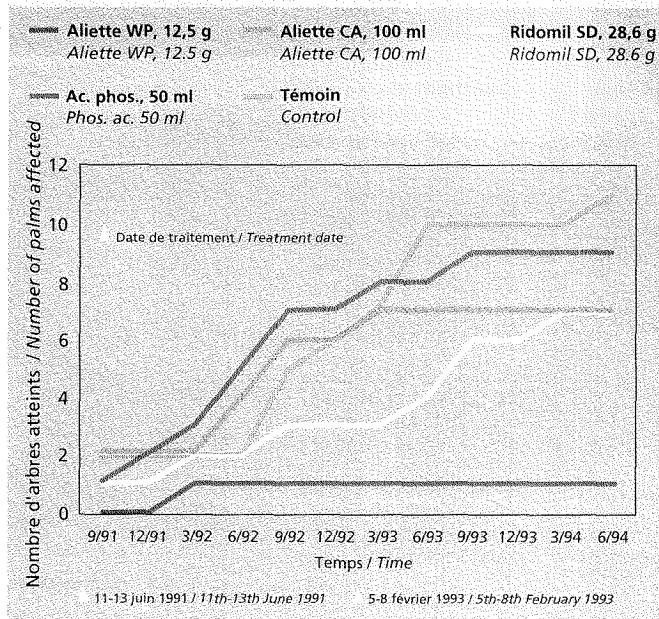


Figure 1A. Evolution de la pourriture du cœur à Tetey (injection dans le stipe). / Bud rot development at Tetey (stem injection).

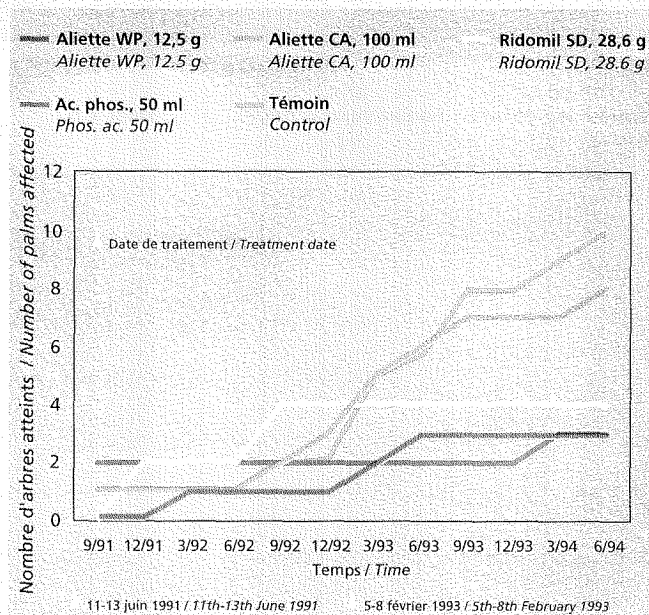


Figure 1B. Evolution de la pourriture du cœur à Tetey (absorption radiculaire). / Bud rot development at Tetey (root uptake).

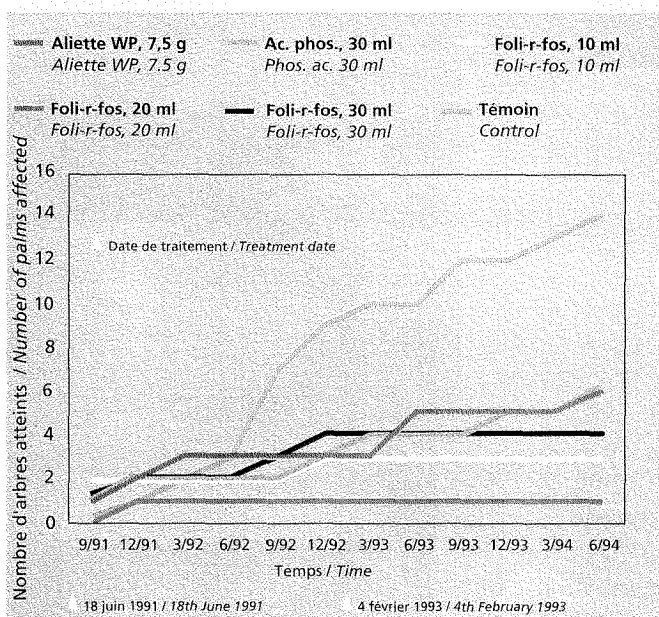


Figure 1C. Evolution de la pourriture du cœur à Koka (injection dans le stipe). / Bud rot development at Koka (stem injection).

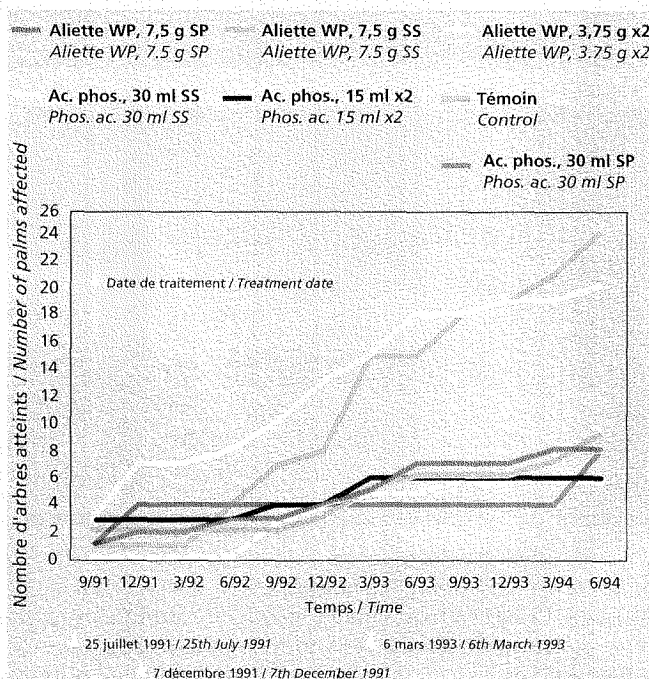


Figure 1D. Evolution de la pourriture du cœur à Pinilih (injection dans le stipe). / Bud rot development at Pinilih (stem injection).

légère blessure est pratiquée à l'aide d'une aiguille, et la goutte d'inoculum est recouverte d'un morceau de papier adhésif, créant ainsi une minuscule chambre humide. Chaque noix reçoit trois inoculations au niveau de la partie équatoriale. La surface des lésions est mesurée chaque jour (longueur, largeur), à partir du quatrième jour après l'inoculation.

Résultats

Incidence de la pourriture du cœur

L'évolution de la pourriture du cœur, en nombre d'arbres atteints en juin 1994, est représentée dans les figures 1A à 1F. L'analyse statistique donnée dans les tableaux 3a et 3b, est effectuée sur le nombre d'arbres réellement morts de la pourriture du cœur ramené à l'effectif

initial lors du premier traitement (test de Duncan après transformation des données $X \rightarrow \arcsin \sqrt{X}$).

A Tetey/Kologan, la maladie continue à évoluer pour tous les traitements, excepté dans le cas de l'acide phosphoreux, 7 g m.a. (matière active) par injection dans le stipe pour lequel la maladie est bloquée depuis mars 1992. Mais il n'existe pas d'effet «méthode de traite-

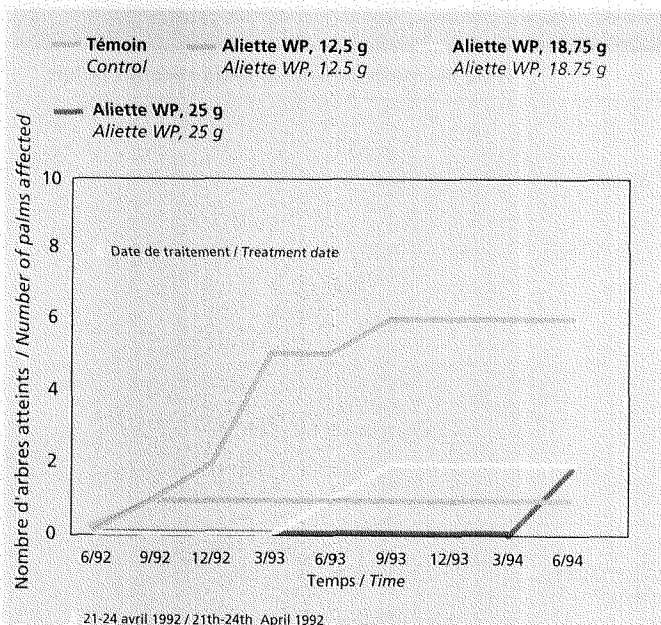


Figure 1E. Evolution de la pourriture du cœur à Warisa (injection dans le stipe). / Bud rot development at Warisa (stem injection).

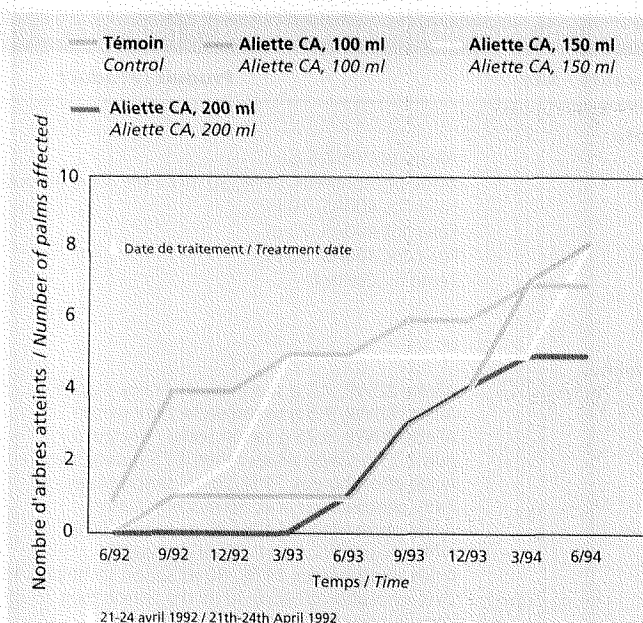


Figure 1F. Evolution de la pourriture du cœur à Warisa (absorption racinaire). / Bud rot development at Warisa (root uptake).

Tableau 3a. Pourcentage d'arbres atteints de pourriture de cœur. / Percentage of palms affected by bud rot.

Localité / Site	Produit / Product	% de cocotiers morts / % dead coconut palms			
		Injection dans le stipe Stem injection	Absorption racinaire Root uptake	Moyenne Mean	
Tetey/Kolongan	Aliette 80WP, 12,5 g	18,22	7,00	12,61 bc	S
	Aliette 100CA, 100 ml	14,94	18,00	16,47 ab	
	Ridomil 35SD, 28,6 g	15,00	9,00	12,00 bc	
	Acide phosphoreux 14 %, 50 ml	4,00	7,50	5,75 c	
	14% phosphorous acid, 50 ml				
	Témoin / Control	23,00	20,50	21,75 a	
		15,03	12,40	13,72	
		NS		interaction	NS
Warisa	Témoin / Control	10,91	14,81	12,86	
	Aliette, 12,5 g (WP) ou 100 ml (CA)	1,82	12,73	7,27	
	Aliette, 18,75 g (WP) ou 150 ml (CA)	3,64	14,54	9,09	
	Aliette, 25 g (WP) ou 200 ml (CA)	3,64	12,79	8,89	
		5,00	12,79	8,89	

N.B. : les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de Duncan). / The values followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Duncan test).

ment» et les produits ne sont pas significativement différents entre eux.

A Koka, les attaques dans les parcelles témoins se poursuivent, mais un net ralentissement de la progression de la maladie est observé dans les parcelles traitées ; les meilleurs résultats sont obtenus avec le Foli-r-fos (8 g m.a.), pour lequel la maladie cesse d'évoluer depuis décembre 1991. L'effet d'un traitement est significatif, les produits n'étant cependant pas significativement différents entre eux.

A Pinilih, un double traitement à demi-dose d'Aliette donne de mauvais résultats ; pour cet objet, la maladie évolue au même rythme que les parcelles témoins. Pour les autres objets, la pourriture du cœur ne progresse que lentement et son développement a même été bloqué pendant plus de deux ans (janvier 1992-mars 1994) dans le cas d'un traitement à l'acide phosphoreux 4,2 g m.a., en début de saison des pluies. Statistiquement, le témoin et le double traitement à l'Aliette se distinguent des autres objets. Une ana-

lyse plus détaillée par la méthode des contrastes montre que l'effet «traitemement» (opposition témoin/traité) est hautement significatif, les effets «produit» (opposition Aliette/acide phosphoreux) et «méthode» (opposition simple/double traitement) sont significatifs alors que l'effet «saison» (opposition saison des pluies/saison sèche) n'est pas significatif. L'existence d'une interaction significative «produit x saison», due aux résultats de l'objet «c», ne nous permet cependant

Tableau 3b. Pourcentage d'arbres atteints de pourriture de cœur. / Percentage of palms affected by bud rot.

Localité / Site	Produit / Product	% de cocotiers morts / % dead coconut palms
Koka	Aliette 80WP, 7,5 g	13,00 b
	Acide phosphoreux 14 %, 30 ml / 14% phosphorous acid, 30 ml	12,72 b
	Foli-r-fos 400AS, 10 ml	7,94 b
	Foli-r-fos 400AS, 20 ml	4,40 b
	Foli-r-fos 400AS, 30 ml	9,22 b
	Témoin / Control	28,00 a
		12,55
Pinilih	Aliette 80WP, 7,5 g saison pluies / rainy season	15,16 b
	Aliette 80WP, 7,5 g saison sèche / dry season	15,44 b
	Aliette 80WP, 3,75 g saison sèche / dry season	37,54 a
	puis 3,75 g saison pluies / then 3,75 g rainy season	
	Acide phosphoreux 14 %, 30 ml saison pluies	11,06 b
	14% phosphorous acid, 30 ml rainy season	
	Acide phosphoreux 14 %, 30 ml saison sèche	13,00 b
	14% phosphorous acid, 30 ml dry season	
	Acide phosphoreux 14 %, 30 ml saison sèche puis 15 ml saison pluies	11,06 b
	14% phosphorous acid, 30 ml dry season then 15 ml rainy season	
	Témoin / Control	48,00 a
		21,61

N.B. : les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de Duncan). / The values followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Duncan test).

pas de conclure à une additivité des effets.

A Warisa, dans un essai plus récent, les résultats concernant l'absorption racinaire ne sont pas satisfaisants alors qu'ils sont encourageants dans le cas de l'injection dans le stipe. Une forte dose d'Aliette 80WP est cependant nécessaire pour maîtriser la maladie. Compte tenu de la faible pression parasitaire dans cet essai, l'analyse statistique n'a pas été faite.

Persistance de l'Aliette dans les noix

Sur 15 des 55 répétitions de l'essai Warisa, des biotests sur noix ont été effectués, 6, 12 et 18 mois après traitement (biotests 1, 2 et 3 des tableaux 4a et 4b). L'analyse de variance (test de Duncan, après transformation des données $X \rightarrow \arcsin \sqrt{X}$) a été effectuée sur le pourcentage de réussite des points d'inoculation et sur le diamètre moyen des lésions, en ne prenant pas en compte les inoculations non réussies, au cinquième jour après l'inoculation des noix.

Six mois après l'application au champ (biotest 1), il existe un effet significatif du traitement : plus la dose d'Aliette est élevée, plus le pourcentage de réussite des inoculations est faible et moins les lésions sont importantes. Ces effets disparaissent, à cause de la dégradation et

de la disparition progressives du fongicide dans l'arbre, 12 à 18 mois après le traitement.

Discussion

Méthode de traitement

Le contrôle de l'absorption racinaire lors des applications à Tetey/Kolongan et Warisa a montré que la vitesse et la qualité de l'absorption varient d'un produit à l'autre, mais aussi d'un arbre à l'autre pour un même produit. En effet, les formulations liquides telles que Aliette 100CA et acide phosphoreux sont généralement assez bien absorbées pour peu que les racines choisies soient actives et en bon état. En revanche, dans le cas du Ridomil 35SD et de l'Aliette 80WP, seule la phase aqueuse est absorbée par la racine. A Warisa, où chaque racine, quel que soit l'arbre, a reçu la même quantité d'Aliette 100CA, seulement 277 racines sur un total de 495 (soit 55,9 %) ont complètement absorbé la solution en une semaine, alors que l'application a été réalisée en période sèche. Dans les autres cas, il a été nécessaire soit de recouper l'extrémité de la racine et de replacer le sachet, soit de changer de racine.

Ainsi l'hétérogénéité des résultats de l'absorption racinaire peut être expli-

quée, mis à part l'efficacité du produit, par :

- un effet arbre/racine. Certains arbres absorbent mieux que d'autres. A Warisa, bien que le nombre de cocotiers atteints reste faible, on note cependant qu'à forte dose d'Aliette 100CA, ce sont les arbres ayant présenté une mauvaise absorption qui sont préférentiellement atteints, tandis qu'à faible dose, les arbres atteints le sont quelle que soit la qualité de l'absorption racinaire. Frémond *et al.* (1966) mentionnent que les racines d'ordre 1 ne sont pratiquement pas absorbantes. Enfin, l'état de la racine (active, non blessée entre le sachet et le tronc) intervient ;
- un effet traitement dû à la pose du sachet contenant la solution et/ou à la répartition du produit dans l'arbre en fonction du nombre de racines utilisées.

L'injection dans le stipe élimine les aléas de l'absorption du produit par les racines. Cette méthode décrite précédemment, occasionnant une blessure importante mais généralement sans conséquence, ne peut cependant pas être utilisée sur les jeunes cocotiers dont les tissus sont encore fragiles. Dans le cas d'une formulation peu concentrée, un nombre important de trous est, en outre, nécessaire.

Tableau 4a. Réussite des inoculations (%), 5 jours après inoculation. / Inoculation succes rate (%) 5 days after inoculation.

	Biotest n° 1 / Bioassay no. 1				Biotest n° 2 / Bioassay no. 2				Biotest n° 3 / Bioassay no. 3			
	Inject.	Absorp.	Moy. / Mean		Inject.	Absorp.	Moy. / Mean		Inject.	Absorp.	Moy. / Mean	
Témoin / Control	60,00	68,89	64,44 a	HS	87,50	80,83	84,16	NS	70,83	78,61	74,22	
Aliette 12,5 g (WP) ou 100 ml (CA)	51,94	34,72	43,33 b		74,72	71,11	72,91		74,11	71,11	72,61	NS
Aliette 18,75 g (WP) ou 150 ml (CA)	42,77	38,05	40,41 b		73,89	91,39	82,64		81,25	72,02	76,63	
Aliette 25 g (WP) ou 200 ml (CA)	20,27	38,33	29,30 b		75,55	73,61	74,58		70,24	60,55	65,24	
	43,74	45,00	44,37		79,23	77,91	78,57	74,11	70,57	73,24		
	NS		Interaction		NS		Interaction		NS		Interaction	
			NS				NS				NS	

Tableau 4b. Diamètre moyen des lésions (mm), 5 jours après inoculation. / Mean lesion diameter (mm) 5 days after inoculation.

	Biotest n° 1 / Bioassay no. 1				Biotest n° 2 / Bioassay no. 2				Biotest n° 3 / Bioassay no. 3			
	Inject.	Absorp.	Moy. / Mean		Inject.	Absorp.	Moy. / Mean		Inject.	Absorp.	Moy. / Mean	
Témoin / Control	18,93	18,95	18,94 a		36,83	34,12	35,47		27,86	28,01	27,93	
Aliette 12,5 g (WP) ou 100 ml (CA)	15,97	13,57	14,77 ab	HS	34,13	30,68	32,40	NS	27,75	26,27	27,01	NS
Aliette 18,75 g (WP) ou 150 ml (CA)	11,00	11,41	11,20 bc		31,50	39,56	35,53		26,51	25,55	26,03	
Aliette 25 g (WP) ou 200 ml (CA)	7,56	9,32	8,44 c		32,98	28,35	30,66		28,43	34,97	31,70	
	13,36	13,31	13,34		31,36	33,21	32,28		27,64	28,70	28,17	
	NS		Interaction		NS		Interaction		NS		Interaction	
			NS				NS				NS	

Efficacité du produit

Même si les traitements ne sont pas toujours statistiquement différents entre eux, il apparaît clairement qu'une protection contre la pourriture du cœur peut être obtenue par une application fongicide. La réponse à un traitement à l'acide phosphoreux, technique ou formulé Foli-r-fos est toujours meilleure ou équivalente à celle à un traitement à l'Aliette ou au Ridomil. Ceci est en accord avec Cohen et Coffey (1986), où il est mentionné que le foséthyl-Al montre *in vitro* une action inhibitrice sur la croissance de *Phytophthora* sp. très inférieure à celle de H_3PO_3 , bien que son métabolite actif soit aussi H_3PO_3 (équilibre entre les formes acide phosphoreux et acide phosphonique).

Les poudres utilisées n'étant pas solubles, la proportion de matière active réellement absorbée par l'arbre reste inconnue dans le cas du Ridomil 35SD et de l'Aliette 80WP. En outre, l'instabilité de la formulation commerciale Aliette 100CA fait qu'une autre inconnue demeure quant à la stabilité de sa matière active, le foséthyl-Al.

L'irrégularité des résultats obtenus par l'Aliette reste surprenante mais pourrait être expliquée, en partie, par plusieurs phénomènes :

- les essais mis en place en plantations villageoises de petites tailles, dans des conditions environnementales différentes de celles de la Côte d'Ivoire, sont plus soumis aux irrégularités de la pression parasitaire (hétérogénéité de la répartition spatiale de l'inoculum et des arbres atteints) ;
- la très importante diversité génétique, mise en évidence par électrophorèse enzymatique (Blaha, communication personnelle), des souches de *Phytophthora* isolées en Indonésie pourrait être à l'origine d'une différence de comportement de ces souches vis-à-vis de certaines molécules fongicides ;
- *Phytophthora palmivora*, agent pathogène majoritairement représenté en Indonésie, est moins sensible *in vitro* aux phosphonates que *P. katsurae*, présent en Côte d'Ivoire (Bompeix et Saindrenan, 1984).

Bien que non significativement différents des autres objets, le traitement à l'acide phosphoreux, 4,2 g m.a., en début

de saison des pluies, a permis de bloquer l'évolution de la maladie pendant plus de deux ans. Ce bon résultat s'explique par le fait que le fongicide est présent en quantité maximale dans l'arbre au moment même où *Phytophthora* retrouve des conditions favorables à son développement et à sa pénétration dans les tissus de la plante. La protection du cocotier contre l'agent pathogène s'en trouve renforcée.

Conclusion

L'injection dans le stipe, d'une efficacité plus régulière, permet un traitement plus rapide et plus économique en main-d'œuvre que l'absorption racinaire. L'acide phosphoreux, du fait de sa très haute solubilité, a l'avantage de pouvoir être injecté à des volumes beaucoup plus faibles que l'Aliette 100CA pour une même quantité de matière active. Ainsi, le volume de travail s'en trouve réduit et la rentabilité du traitement améliorée.

Le coût en produit pour 10 g m.a. par arbre est d'environ 690 Rp pour le Foli-r-fos 400AS contre 1350 Rp pour l'Aliette 100CA. D'un prix équivalent au Foli-r-fos,

l'Aliette 80WP n'apporte cependant pas la protection espérée, à une même dose de matière active.

Ainsi, pour lutter de façon efficace et à moindre coût contre la pourriture du cœur du cocotier en Indonésie, il est recommandé de traiter par injection dans le stipe, en début de saison des pluies, à l'aide de 8 à 10 g d'acide phosphoreux (m.a.). La perforation du stipe sera pratiquée à l'aide d'une perceuse automotrice, ou d'une chignole, à raison de deux trous opposés.

Afin d'améliorer la technique de traitement, et de réduire le traumatisme causé à la plante, des expérimentations utilisant, en particulier, les seringues injectrices Chemjet seront conduites. ■

Les auteurs tiennent à remercier : le *Smallholder Coconut Development Project*, Manado, qui a permis l'installation de ces essais.

Mme Suryani Lahea et MM. Agus Palit, Sampel Rotinsulu et Yosep Sigar pour leur aide précieuse au laboratoire et aux champs.

PT Rhône-Poulenc Agrocarb et PT Mitra Kreasidharma ayant gracieusement fourni les produits suivants : Aliette 80WP, Aliette 100CA et Foli-r-fos 400AS.

Bibliographie / References

- ANONYME, 1989. Demplot uji coba fungisida Aliette 100CA terhadap penyakit *Phytophthora palmivora* pada kelapa hibrida PB121 di lokasi UPP SCDP Bolaang Hamparan KH Bakan. Direktorat Jendral Perkebunan, Proyek pengembangan kelapa rakyat, Sulawesi Utara, Indonésie, 14 p. (document interne).
- BENNET C.P.A., SITEPU G., ROBOTH O., 1985. Aspects of the control of premature nutfall disease of coconut, *Cocos nucifera* L., caused by *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler. In : Coconut pest and disease seminar, Bogor, Indonésie, 8-10 mai 1985, n°8, 29 p.
- BOMPEIX G., SAINDRENAN P., 1984. *In vitro* antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid on *Phytophthora* species. Fruits 39 (12) : 777-785.
- COHEN Y., COFFEY M., 1986. Systemic fungicides and the control of Oomycetes. Ann. Rev. Phytopathol. 24 : 311-338.
- FRANQUEVILLE H. DE, RENARD J.L., 1989. Intérêt du phoséthyl-Al dans la lutte contre le *Phytophthora* du cocotier. Modalités d'application. Oléagineux 44 (7) : 351-358.
- FRÉMOND Y., ZILLER R., NUCÉ DE LAMOTHE M. DE, 1966. Le cocotier. Paris, France, Maisonneuve et Larose, coll. Techniques agricoles et productions tropicales 25, 267 p.
- KHARIE S., MOTULO H.F.J., WAROKKA J.S., 1992. Pengujian fungisida sistemik fosetyl-Al terhadap penyakit Busuk Pucuk dan Gugur Buah pada tanaman kelapa. In : Laporan tahunan 1991/1992. Balai Penelitian Kelapa, Manado, Indonésie, perlindungan tanaman, p. 9-11.
- MOTULO H.F.J., KHARIE S., MANGINDAAN H.F., 1992. Efikasi beberapa fungisida untuk pengendalian penyakit Busuk Pucuk dan Gugur Buah pada tanaman kelapa. In : Laporan tahunan 1991/1992. Balai Penelitian Kelapa, Manado, Indonésie, perlindungan tanaman, p. 8-9.
- QUILLEC G., RENARD J.L., GUESQUIERE H., 1984. Le *Phytophthora heveae* du cocotier : son rôle dans la pourriture du cœur et dans la chute des noix. Oléagineux 39 (10) : 477-485.
- THÉVENIN J.M., MOTULO H.F.J., KHARIE S., MANGINDAAN H.F., WAROKKA J.S., 1994. Epidemiological studies on *Phytophthora* diseases of coconut in North Sulawesi province, Indonesia. In : Coconut *Phytophthora* workshop, Manado, Indonésie, 23-30 octobre 1992, Montpellier, France, CIRAD-CP, p. 21-25.
- WAROKKA J.S., KHARIE S., MANGINDAAN H.F., 1992. Pengujian fungisida fosetyl-Al dan Phosphorous acid terhadap penyakit Busuk Pucuk dan Gugur Buah kelapa. In : Laporan tahunan 1991/1992. Balai Penelitian Kelapa, Manado, Indonésie, perlindungan tanaman, p. 11-12.

Chemical control of coconut bud rot caused by *Phytophthora* in Indonesia

Thévenin J.M.¹, Motulo H.F.J.², Kharie S.², Renard J.L.¹

¹ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² Balai Penelitian Kelapa, Kotak Pos 1004, Manado, Indonesia

Phytophthora diseases cause two types of symptoms on coconut: bud rot, leading to palm death, and immature nut fall, resulting in yield losses. Damage due to *Phytophthora* has been reported in many tropical countries.

A large bud rot focus appeared in Côte d'Ivoire in 1977, and within a few years, 50% of the local Tall palms in some smallholdings had been killed (Quilicet *et al.*, 1984) and annual immature nut fall was estimated at 10 to 25% on Yellow Dwarf x West African Tall hybrids (de Franqueville and Renard, 1989).

These diseases had gone unnoticed or had not had any economic impact in Indonesia until the 1980s, but have since developed primarily in smallholdings planted with the PB 121 hybrid (Nias Yellow Dwarf x West African Tall), where the death rate can reach 40% (Thévenin *et al.*, 1994), and in Nias Yellow Dwarf seed gardens, where losses due to immature nut fall were estimated at 50% in 1985 (Bennet *et al.*, 1985). Trials set up in North Sulawesi (Indonesia) in the 1980s led to the recommendation of a 60-ml dose of Aliette 100 CA (Fosetyl-Al based), twice a year (Anonymous, 1989). However, doubt was cast on these results by other trials set up in 1988 by the Balitka Coconut Research Institute at Manado (Motulo *et al.*, 1992; Kharie *et al.*, 1992; Warokka *et al.*, 1992).

The excellent results obtained in Côte d'Ivoire by stem injection with Aliette 80WP to control immature nut fall (de Franqueville and Renard, 1989) led Balitka to launch trials of several treatment methods and several fungicides under an STD2 (Life Sciences and Technology for Developing Countries) project funded by the European Union. The results of these bud rot control trials, set up in 1991-1992, are given below.

Material and methods

Two treatment methods were used: root uptake and stem injection. The four trials were set up on smallholdings, in PB 121 hybrid plots. Tables 1 and 2 describe the trials.

Root uptake

The roots used for root uptake had to be in good condition and active. They were reddish-brown in colour, roughly 1 cm in diameter and 50-100 cm from the stem, depending on the state of root system development. The root was cleared

of earth, and cut. The part still connected to the palm was then cleaned and inserted into a plastic bag containing the fungicide solution (photo 1). Great care was taken to ensure that the root touched the bottom of the bag without making a hole in it, hence that all the solution was taken up. A bamboo hoop was used to peg the root down. Uptake was checked regularly over a period of several days; if the product was not taken up, the treatment was repeated on another root.

Stem injection

Stem injection was practised on hybrid or Tall coconut palms aged over 7 years, using a cordless drill (photo 2). The holes drilled were 12 mm in diameter, 15 cm deep, running downwards at an angle of 45°, around a metre from the ground. The solution or suspension was injected into the stem using a syringe, and the hole was then stopped tightly with a wooden plug soaked in insecticide (for example Monocrotophos based), to prevent pest attacks on the wound.

Monitoring fungicide persistence in the nuts

To check whether the fungicide had reached the nut husk, artificial inoculation tests (bioassays) were carried out in the laboratory on young nuts aged around 6 months, taken from the palms being studied (2 nuts per palm). The nuts were inoculated with a zoospore and mycelium solution obtained from a *Phytophthora* strain isolated from nut rot and cultured for 12 to 15 days on a PCA medium (20 g/l of potato, 20 g/l of carrot, 20 g/l of agar). A slight wound was made with a needle, before applying a drop of inoculum and covering it with a piece of sticking tape to create a miniature moisture chamber. The equatorial part of each nut was inoculated three times, and the lesion area was measured daily (length, width), starting four days after inoculation.

Results

Bud rot incidence

Bud rot development in terms of the number of palms affected in June 1994 is shown in figures 1A to 1F. The statistical analysis of the number of palms actually killed by bud rot in relation to the initial number of palms at the time of the first treatment (Duncan test after $\chi^2 \rightarrow$ arc

sine \sqrt{X} data transformation), is shown in table 3a and 3b.

At Tetey/Kologan, the disease has continued to develop for all the treatments, except for stem injection with phosphorous acid at a dose of 7 g of a.i., which halted the disease in March 1992. However, no «treatment method» effect has been seen, and there is no significant difference between the products used.

At Koka, attacks in the control plots are continuing, but disease development has slowed down substantially in the treated plots; the best results have been obtained with Foli-r-fos (8 g a.i.), which halted disease development in December 1991. The treatment effect is significant, but there is no significant difference between the products.

At Pinilih, double treatment with two half-doses of Aliette has given poor results, and the disease is developing at the same rate in this treatment as in the control plots. In the other treatments, bud rot is only spreading slowly, and its development was even halted for over two years (January 1992-March 1994) by treating with phosphorous acid at a dose of 4.2 g of a.i. at the start of the rainy season. The control and the double treatment with Aliette stand out statistically from the other treatments. A more detailed analysis by the contrast method showed that the «treatment» effect (comparison of control/treated plots) was highly significant, the «product» effect (comparison of Aliette/phosphorous acid) and «method» effect (comparison of single/double treatment) were significant and the «season» effect (comparison of rainy season/dry season) was not significant. However, the fact that there is a significant «product x season» interaction due to the results of treatment «c» means that the effects cannot be assumed to be additive.

At Warisa, in a more recent trial, the results for root uptake are not satisfactory, whereas they are promising for stem injection. However, a large dose of Aliette 80WP is required to control the disease. Given the low parasite pressure in the trial, no statistical analysis has been carried out.

Aliette persistence in the nuts

In 15 of the 55 replicates in the Warisa trial, bioassays were carried out on nuts 6, 12 and 18 months after treatment (bioassays 1, 2 and 3

in tables 4a and 4b). An analysis of variance (Duncan test after $X \rightarrow \arcsin \sqrt{X}$ data transformation) was carried out on the percentage of successful inoculations and on mean lesion diameter, excluding unsuccessful inoculations, five days after nut inoculation.

Six months after application in the field (bioassay 1), the treatment had had a significant effect: the higher the Aliette dose, the lower the percentage of successful inoculations and the smaller the lesions. These effects had disappeared, due to the steady breakdown and dispersion of the fungicide in the palm 12 and 18 months after treatment.

Discussion

Treatment method

Checks on root uptake after application at Tetey/Kolongan and Warisa showed that the speed and degree of uptake varied from one product to another, but also from one palm to another for the same product. For example, liquid formulations such as Aliette 100CA and phosphorous acid were quite effectively taken up, provided the roots chosen were active and in good condition. However, in the case of Ridomil 35SD and Aliette 80WP, only the aqueous phase was taken up by the root. At Warisa, where every root, irrespective of the palm, was given the same quantity of Aliette 100CA, only 277 roots out of 495 (55.9%) took up all of the solution within a week, despite the fact that the treatment was carried out during the dry season. In the other cases, either the tip of the root had to be cut again and the bag changed, or the root had to be changed.

Besides the efficacy of the product, these variable root uptake results may be due to:

- a palm/root effect. Some palms take up the product better than others. At Warisa, although only a few palms are affected, it is clear that with a high dose of Aliette 100CA, it is the palms that fail to take up the product effectively that are affected, whereas with a low dose, the palms are affected irrespective of the degree of uptake. Frémond *et al.* (1966) mentioned that order 1 roots took up hardly any of the solution. Lastly, the state of the root (active, with no wounds between the bag and the stem) also plays a role;
- a treatment effect due to how the bag containing the solution was installed and/or product distribution within the palm depending on the number of roots used.

Stem injection bypasses the unpredictable aspects of root uptake. However, this method (see above) involves a large wound, and although the palm does not generally suffer in the long term, it cannot be used on young palms, whose tissues are still fragile. Moreover, when using a formulation with a low concentration of

active ingredient, several holes have to be drilled.

Product efficacy

Although the treatments are not always statistically different from one another, it is clear that it is possible to control bud rot with fungicide applications. The response to treatment with phosphorous acid, neat or in Foli-r-fos form, was systematically as effective as, if not more effective than, treatment with Aliette or Ridomil. This tallies with Cohen and Coffey's observations (1986) that Fosetyl-Al inhibited *Phytophthora* sp. growth *in vitro* much less successfully than H_3PO_3 , although its active metabolite is also H_3PO_3 (balance between the phosphorous acid and phosphonic acid forms).

As the powders used were not soluble, the proportion of active ingredient actually taken up by the palm is impossible to determine for Ridomil 35SD and Aliette 80WP. Moreover, the instability of the Aliette 100CA commercial formula means that there is another unknown factor: the stability of its active ingredient, Fosetyl-Al.

The inconsistency of the results obtained with Aliette is still surprising, but may be due to several phenomena:

- the trials were set up on smallholdings with small plots, under different environmental conditions from those in Côte d'Ivoire, and were more susceptible to variations in parasite pressure (irregular spatial distribution of the inoculum and of affected palms);
- the substantial genetic diversity amongst the *Phytophthora* strains isolated in Indonesia, revealed by enzymatic electrophoresis (Blaha, personal communication), may lie behind the differences in the performance of these strains with respect to certain fungicide molecules;
- *Phytophthora palmivora*, the most common pathogen in Indonesia, is less susceptible to phosphonates *in vitro* than *P. katusae*, which is found in Côte d'Ivoire (Bompeix and Saindrenan, 1984).

Although it was not significantly different from the other treatments, using phosphorous acid at a dose of 4.2 g of a.i. at the start of the rainy season did halt the disease for over two years. This promising result is due to the fact that the maximum amount of fungicide can be found in the palm at the very time when the conditions for *Phytophthora* development and penetration of the plant tissues are most favourable. The palms are therefore more effectively protected against the pathogen.

Conclusion

Stem injection, which is more consistently effective, is a quicker and less labour-intensive

technique than root uptake. By virtue of its very high solubility, phosphorous acid can be injected at much lower volumes than Aliette 100CA for the same amount of active ingredient, hence reducing the workload and increasing the cost-effectiveness of treatment.

The cost of products to apply 10 g of a.i. per palm is around Rp 690 for Foli-r-fos 400AS, compared to Rp 1,350 for Aliette 100CA. Aliette 80WP costs roughly the same as Foli-r-fos, but does not provide the same degree of protection at the same dose of active ingredient.

To control coconut bud rot in Indonesia as effectively and economically as possible, stem injection is therefore recommended, at the start of the rainy season, with 8 to 10 g of phosphorous acid (a.i.). Two diametrically opposed holes should be drilled in the stem with a cordless drill or hand drill.

To improve the treatment technique and limit the trauma suffered by the palm, further experiments are to be carried out, notably using Chemjet syringes. ■

The authors would like to thank the Smallholder Coconut Development Project, Manado, for hosting the trials; Mrs. Suryani Lahea and Messrs. Agus Palit, Sampil Ratinsulu and Yosep Sagar for their invaluable help in the laboratory and the field; PT Rhône-Poulenc Agrocarb and PT Mitra Kreasidharma for providing the following products free of charge: Aliette 80WP, Aliette 100CA and Foli-r-fos 400AS.